

Japanese Patent Application Preliminary Publication No. Hei 9-171151

Laid open on: June 30, 1997  
Title of Invention: Image Display Apparatus  
Patent Application No.: Hei 7-330607  
Filed on: December 19, 1995  
Inventor: Koichi TAKAHASHI  
Applicant: Olympus Optical Co., Ltd.

--- translation of the portion marked A on pages 5-11 (paragraphs [0046]-[0065]) ---

[0046]

[Modes for Carrying out Invention] In reference to the drawings, descriptions will be made of the first to sixth embodiments of the image display apparatus according to the present invention. While configuration parameters of each embodiment will be presented later, the surface arrangement numbers are assigned in order from the pupil position 1 of the observer to the eyepiece optical system 9 to conform to the reverse ray tracing. The coordinate system is defined, as shown in Fig. 1, by the origin at the iris position 1 of the observer, Z axis where the direction along the visual axis 2 of the observer from the origin toward the eyepiece optical system 9 is positive, Y axis which intersects the visual axis 2 of the observer at right angles with the direction from the lower side toward the upper side as viewed by the eye of the observer being positive, and by X axis which intersects the visual axis 2 of the observer at right angles with the direction from the right side toward the left side as viewed by the eye of the observer being positive. In other words, the paper surface of Fig. 1, which will be explained later, is Y-Z plane, and a plane perpendicular to the paper surface is X-Z plane.

Also, the optical axis is bent in Y-Z plane on the figure.

[0047] In the later described configuration parameters, regarding a surface for which the decentering amount  $Y$ ,  $Z$  and the angle  $\theta$  are shown, these parameters mean the decentering amount in Y-axis direction and in Z-axis direction of the vertex of the surface in reference to the first surface (pupil position 1) as the reference surface and the tilt angle of the center axis of the surface in reference to Z axis, where a positive value of  $\theta$  means counterclockwise rotation. In this case, the surface separation has no meaning.

[0048] Also, for each surface, the shape of the rotationally asymmetric aspherical surface is expressed by the following aspherical equation in a coordinate system that defines the very surface, where  $R_y$ ,  $R_x$  are the radius of paraxial curvature in Y-Z plane (plane of the paper surface) and the radius of paraxial curvature in X-Z plane, respectively,  $K_x$ ,  $K_y$  are conical coefficients in X-Z plane and in Y-Z plane, respectively,  $AR$ ,  $BR$  are the fourth order- and the sixth order- aspherical coefficients that are rotationally symmetric with respect to Z axis, respectively, and  $AP$ ,  $BP$  are the rotationally asymmetric fourth order- and sixth order- aspherical coefficients, respectively.

$$[0049] \quad Z = [(X^2/R_x) + (Y^2/R_y)] / [1 + \{1 - (1 + K_x) (X^2/R_x^2) - (1 + K_y) (Y^2/R_y^2)\}^{1/2}] + AR[(1 - AP)X^2 + (1 + AP)Y^2]^2 + BR[(1 - BP)X^2 + (1 + BP)Y^2]^3.$$

Also, a refractive index between surfaces is presented as the refractive index for d-line rays, and the unit of length is mm.

[0050] Sectional views of monocular type image display apparatuses of the first to sixth embodiments are shown in Figs. 1-6, respectively. In each sectional view, the reference numeral 1 represents the pupil position

of the observer, the reference numeral 2 represents the visual axis of the observer, the reference numeral 9 represents the eyepiece optical system, the reference numeral 11 represents the first surface of the eyepiece optical system 9, the reference numeral 5 represents a half mirror as the second surface of the eyepiece optical system 9, the reference numeral 6 represents a magnifying mirror (concave surface mirror) as the third surface of the eyepiece optical system 9, the reference numeral 12 represents the fourth surface of the eyepiece optical system 9, and the reference numeral 8 represents the image display element.

[0051] The actual route of rays in these embodiments is as follows: Bundles of rays emanating from the image display element 8 enter the eyepiece optical system 9 as refracted at the fourth surface 12 of the eyepiece optical system, are transmitted through the half mirror 5 and reflected at the magnifying mirror 6 to be returned to the half mirror 5, then are reflected at the half mirror 5 and incident on the first surface 11 of the eyepiece optical system 9 to be refracted there, and are projected inside the eyeball of the observer with the exit pupil 1 being positioned on the iris of the eye of the observer or at the rotation center of the eyeball.

[0052] Values of the field angle etc. for each embodiment are as presented below. According to the first embodiment, the horizontal field angle is  $40^\circ$ , the vertical field angle is  $30.6^\circ$ , the pupil diameter is 4mm, the angle formed by a normal to the half mirror 5 and the visual axis 2 of the observer is  $37.42^\circ$ , and the curvature at the vertex of the half mirror 5 is  $-0.0056\text{mm}^{-1}$ .

[0053] According to the second embodiment, the horizontal field angle is  $30^\circ$  , the vertical field angle is  $22.8^\circ$  , the pupil diameter is 8mm, the angle formed by a normal to the half mirror 5 and the visual axis 2 of the observer is  $39.9^\circ$  , and the curvature at the vertex of the half mirror 5 is  $-0.0046\text{mm}^{-1}$ .

[0054] According to the third embodiment, the horizontal field angle is  $45^\circ$  , the vertical field angle is  $34.6^\circ$  , the pupil diameter is 4mm, the angle formed by a normal to the half mirror 5 and the visual axis 2 of the observer is  $43.45^\circ$  , and the curvature at the vertex of the half mirror 5 is  $-0.01\text{mm}^{-1}$ .

[0055] According to the fourth embodiment, the horizontal field angle is  $45^\circ$  , the vertical field angle is  $34.6^\circ$  , the pupil diameter is 4mm, the angle formed by a normal to the half mirror 5 and the visual axis 2 of the observer is  $38.59^\circ$  , and the curvature at the vertex of the half mirror 5 is  $-0.005\text{mm}^{-1}$ .

[0056] According to the fifth embodiment, the horizontal field angle is  $45^\circ$  , the vertical field angle is  $34.6^\circ$  , the pupil diameter is 4mm, the angle formed by a normal to the half mirror 5 and the visual axis 2 of the observer is  $41.8^\circ$  , and the curvature at the vertex of the half mirror 5 is  $-0.0055\text{mm}^{-1}$ .

[0057] According to the sixth embodiment, the horizontal field angle is  $40^\circ$  , the vertical field angle is  $30.6^\circ$  , the pupil diameter is 8mm, the angle formed by a normal to the half mirror 5 and the visual axis 2 of the observer is  $42.39^\circ$  , and the curvature at the vertex of the half mirror 5 is  $-0.0038\text{mm}^{-1}$ . The configuration parameters of the above-mentioned first to sixth embodiments are shown below.

[0058] First Embodiment

Surface Arrange. No.	Radius of Curvature	Separation	Refractive Index (Decentering Amount)		Abbe's No. (Tilt Angle)
1	$\infty$ (pupil)				
2	$\infty$		1.5254		56.25
		Y	0.0000	$\theta$	$-3.72^\circ$
		Z	20.355		
3	$R_y -179.211$		1.5254		56.25
	$R_x -165.411$	Y	-2.194	$\theta$	$37.42^\circ$
	$K_y 0$	Z	35.355		
	$K_x 0$				
	$A R 0.127284 \times 10^{-5}$				
	$B R -0.565396 \times 10^{-13}$				
	$A P -0.107951$				
	$B P -0.119600 \times 10^2$				
4	$R_y 180.917$		1.5254		56.25
	$R_x 99.112$	Y	-12.807	$\theta$	$84.69^\circ$
	$K_y 0$	Z	48.355		
	$K_x 0$				
	$A R 0.108134 \times 10^{-5}$				
	$B R 0.211006 \times 10^{-10}$				
	$A P -0.199934$				
	$B P 0.108930 \times 10^1$				
5	$R_y -30.858$	Y	11.666	$\theta$	$107.71^\circ$
	$R_x -37.728$	Z	10.085		
	$K_y -0.648366$				
	$K_x -4.488275$				
	$A R 0.283824 \times 10^{-4}$				
	$B R -0.406175 \times 10^{-7}$				
	$A P -0.117155 \times 10^1$				
	$B P -0.974334$				
6	(image display element)	Y	15.451	$\theta$	$88.11^\circ$
		Z	33.857		

[0059] Second Embodiment

Surface Arrange. No.	Radius of Curvature	Separation	Refractive Index (Decentering Amount)		Abbe's No. (Tilt Angle)	
1	$\infty$ (pupil)					
2	$\infty$		1.5254		56.25	
		Y	0.0000	$\theta$	-9.32°	
		Z	20.000			
3	$R_y$ -218.075		1.5254		56.25	
	$R_x$ -153.445	Y	4.969	$\theta$	39.90°	
	$K_y$ -3.368535	Z	31.862			
	$K_x$ -10.000000					
	A R 0.571943 $\times 10^{-6}$					
	B R -0.917414 $\times 10^{-12}$					
	A P -0.368789					
	B P -0.587966 $\times 10^1$					
4	$R_y$ 224.186		1.5254		56.25	
	$R_x$ 162.490	Y	-13.161	$\theta$	83.54°	
	$K_y$ 0	Z	41.138			
	$K_x$ 0					
	A R 0.948197 $\times 10^{-6}$					
	B R 0.156382 $\times 10^{-12}$					
	A P -0.122671					
	B P 0.753978 $\times 10^1$					
5	$R_y$ -1413.225	Y	12.660	$\theta$	68.09°	
	$R_x$ -87.184	Z	25.000			
	$K_y$ -8.000000					
	$K_x$ 10.000000					
	A R 0.270191 $\times 10^{-5}$					
	B R -0.776615 $\times 10^{-9}$					
	A P -0.595865					
	B P 0.479127					
6	(image display element)	Y	19.617	$\theta$	97.26°	
		Z	28.387			

[0060] Third Embodiment

Surface Arrange. No.	Radius of Curvature	Separation	Refractive Index (Decentering Amount)	Abbe's No. (Tilt Angle)
1	$\infty$ (pupil)			
2	$R_y$ -173.329		1.5254	56.25
	$R_x$ 41.324	Y	-3.353 $\theta$	-2.43°
	$K_y$ 0	Z	20.147	
	$K_x$ 0			
	A R $-0.329652 \times 10^{-6}$			
	B R $0.523728 \times 10^{-11}$			
	A P $0.876156 \times 10^1$			
	B P $-0.202358 \times 10^2$			
3	$R_y$ -100.000		1.5254	56.25
	$R_x$ 952.298	Y	-0.313 $\theta$	43.45°
	$K_y$ 0	Z	31.542	
	$K_x$ 0			
	A R $-0.789469 \times 10^{-10}$			
	B R $0.314882 \times 10^{-10}$			
	A P $-0.126990 \times 10^3$			
	B P $0.239103 \times 10^1$			
4	$R_y$ 699.924		1.5254	56.25
	$R_x$ 60.372	Y	-13.353 $\theta$	79.33°
	$K_y$ 0	Z	43.377	
	$K_x$ 0			
	A R $0.472554 \times 10^{-10}$			
	B R $0.423116 \times 10^{-12}$			
	A P $0.935918 \times 10^2$			
	B P $0.139150 \times 10^2$			
5	R -11.757	Y	11.484 $\theta$	89.25°
	$R_x$ -4.496	Z	24.253	
	$K_y$ -1.774022			
	$K_x$ -3.509119			
	A R $0.822394 \times 10^{-4}$			
	B R $-0.179411 \times 10^{-6}$			
	A P $-0.127684 \times 10^1$			
	B P $-0.114684 \times 10^1$			
6	(image display element)	Y	10.037 $\theta$	73.55°
		Z	37.142	°

[0061] Fourth Embodiment

Surface Arrange. No.	Radius of Curvature	Separation	Refractive Index (Decentering Amount)		Abbe's No. (Tilt Angle)	
1	$\infty$ (pupil)					
2	$R_y$ -288.420			1.5254		56.25
	$R_x$ -613.123	Y	0.671	$\theta$		0.03°
	$K_y$ 0	Z	20.040			
	$K_x$ 0					
	A R 0.115829 $\times 10^{-4}$					
	A P 0.203677					
	B P 0.171442 $\times 10^3$					
3	$R_y$ -200.000			1.5254		56.25
	$R_x$ -261.675	Y	-1.792	$\theta$		38.59°
	$K_y$ 0	Z	35.040			
	$K_x$ 0					
	A R 0.163562 $\times 10^{-5}$					
	B R -0.301809 $\times 10^{-15}$					
	A P -0.564787 $\times 10^{-1}$					
	B P -0.123717 $\times 10^3$					
4	$R_y$ 102.370			1.5254		56.25
	$R_x$ 68.331	Y	-13.876	$\theta$		87.47°
	$K_y$ 0	Z	48.040			
	$K_x$ 0					
	A R 0.992790 $\times 10^{-6}$					
	B R 0.605520 $\times 10^{-12}$					
	A P -0.238580					
	B P 0.610124 $\times 10^1$					
5	$R_y$ -40.454	Y	6.671	$\theta$		113.70°
	$R_x$ -38.017	Z	3.099			
	$K_y$ -0.232146					
	$K_x$ -5.408361					
	A R 0.921621 $\times 10^{-4}$					
	B R -0.107135 $\times 10^{-6}$					
	A P -0.108753 $\times 10^1$					
	B P -0.957482					
6	(image display element)	Y	11.393	$\theta$		81.18°
		Z	36.812			。

[0062] Fifth Embodiment

Surface Arrange. No.	Radius of Curvature	Separation	Refractive Index (Decentering Amount)		Abbe's No. (Tilt Angle)
1	$\infty$ (pupil)				
2	$\infty$		1.5254		56.25
		Y	-15.000	$\theta$	0.00°
		Z	20.000		
3	$R_y$ -183.184		1.5254		56.25
	$R_x$ -172.198	Y	18.348	$\theta$	41.80°
	$K_y$ 0	Z	21.000		
	$K_x$ 0				
	A R $0.388012 \times 10^{-6}$				
	B R $-0.933882 \times 10^{-10}$				
	A P $-0.173951 \times 10^{-1}$				
	B P -0.223255				
4	72.254		1.5254		56.25
		Y	-11.323	$\theta$	73.43°
		Z	28.472		
5	$R_y$ -92.917	Y	12.110	$\theta$	79.60°
	$R_x$ -42.127	Z	20.000		
	$K_y$ 0				
	$K_x$ 0				
	A R $0.128407 \times 10^{-4}$				
	B R $-0.307966 \times 10^{-10}$				
	A P -0.161439				
	B P $0.517646 \times 10^1$				
6	(image display element)	Y	12.512	$\theta$	86.16°
		Z	35.183		

[0063] Sixth Embodiment

Surface Arrange. No.	Radius of Curvature	Separation	Refractive Index (Decentering Amount)		Abbe's No. (Tilt Angle)	
1	$\infty$ (pupil)					
2	256.499			1.4870		70.40
			Y	76.098	$\theta$	-9.60°
			Z	26.430		
3	$R_y$ -261.011			1.4870		70.40
	$R_x$ -604.816		Y	30.709	$\theta$	42.39°
	$K_y$ -10.000000		Z	25.177		
	$K_x$ 0					
	A R $-0.100334 \times 10^{-8}$					
	B R $-0.137823 \times 10^{-10}$					
	A P $-0.679774 \times 10^1$					
	B P -0.312747					
4	$R_y$ 166.156			1.4870		70.40
	$R_x$ 106.217		Y	-21.391	$\theta$	72.57°
	$K_y$ 0		Z	51.676		
	$K_x$ 0					
	A R $-0.171410 \times 10^{-9}$					
	B R $0.106042 \times 10^{-10}$					
	A P $0.286805 \times 10^2$					
	B P 0.948785					
5	$R_y$ -261.011			1.54787		47.40
	$R_x$ -604.816		Y	30.709	$\theta$	42.39°
	$K_y$ -10.000000		Z	25.177		
	$K_x$ 0					
	A R $-0.100334 \times 10^{-8}$					
	B R $-0.137823 \times 10^{-10}$					
	A P $-0.679774 \times 10^1$					
	B P -0.312747					
6	$R_y$ 74.598		Y	8.126	$\theta$	112.83°
	$R_x$ 111.513		Z	81.238		
	$K_y$ 0					
	$K_x$ 0					
	A R $0.942722 \times 10^{-6}$					
	B R $-0.412902 \times 10^{-11}$					
	A P $0.261913 \times 10^1$					
	B P $0.378035 \times 10^1$					
7	(image display element)		Y	19.346	$\theta$	71.17°
			Z	78.835		

[0064] Next, lateral aberration diagrams of the first embodiment are shown in Figs. 7-9. In the similar manner, lateral aberration diagrams of the second to sixth embodiments are shown in Figs. 10-12, Figs. 13-15, Figs. 16-18, Figs. 19-21, and Figs. 22-24, respectively. These aberration diagrams show, with numerals in parentheses expressing (horizontal field angle, vertical field angle), lateral aberrations at that field angle.

[0065] While the image display apparatus of the present invention is described above based on the embodiments, the present invention can be variously modified, not limited to these embodiments. In order to configure the image display apparatus of the present invention as a head-mount type image display apparatus (HMD) 21, the apparatus is used as mounted on the head of the observer upon a head band 20, for example, being coupled thereto, as shown in the sectional view of Fig. 25(a) and the perspective view of Fig. 25(b). In this application example, a liquid crystal shutter 13 is provided in front of the half mirror 5 as the second surface of the eyepiece optical system 9, so that the outside view is observable selectively or as superimposed on the image derived from the image display element 8.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-171151

(43) 公開日 平成 9 年 (1997) 6 月 30 日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 27/02			G 0 2 B 27/02	Z
H 0 4 N 5/64	5 1 1		H 0 4 N 5/64	5 1 1 A

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平7-330607

(22) 出願日 平成 7 年 (1995) 12 月 19 日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社  
東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 43 番 2 号

(72) 発明者 高橋浩一

東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 43 番 2 号オリン  
パス光学工業株式会社内

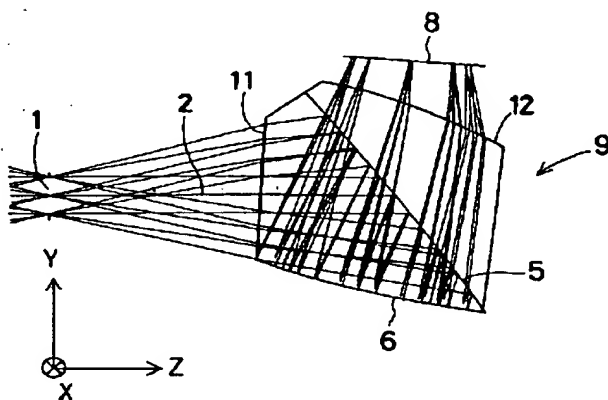
(74) 代理人 弁理士 荏澤 弘 (外 7 名)

(54) 【発明の名称】 画像表示装置

(57) 【要約】

【課題】 広い画角において明瞭に観察が可能であり、非常に小型軽量の画像表示装置。

【解決手段】 画像表示素子 8 とその画像を投影し観察者眼球に導く接眼光学系 9 とからなる画像表示装置であり、接眼光学系 9 は、4 面の光学面 1 2、6、5、1 1 を有し、観察者から画像表示素子 8 に到る逆光線追跡に従って光線が通過する順に、観察者に近接した透過面である第 1 面 1 1、観察者視軸 2 に対して傾いた有限の曲率を有する半透過面である第 2 面 5、第 2 面 5 に対向した反射面である第 3 面 6、画像表示素子 8 に近接した透過面である第 4 面 1 2 で構成されており、第 1 面 1 1、第 3 面 6、第 4 面 1 2 で形成された空間が屈折率が 1 より大きい媒質によって満たされている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 画像を表示する画像表示素子と、前記画像表示素子によって形成された画像を投影し観察者眼球に導く接眼光学系とからなる画像表示装置において、前記接眼光学系は、少なくとも 4 面の光学面を有し、前記観察者から前記画像表示素子に到る逆光線追跡に従って光線が通過する順に、観察者に近接した透過面である第 1 面、観察者視軸に対して傾いた有限の曲率を有する半透過面である第 2 面、第 2 面に対向した反射面である第 3 面、画像表示素子に近接した透過面である第 4 面で構成されており、前記第 1 面、前記第 3 面、前記第 4 面で形成された空間が屈折率が 1 より大きい媒質によって満たされていることを特徴とする画像表示装置。

【請求項 2】 前記第 2 面は観察者に対して凹面を向けた半透過面であることを特徴とする請求項 1 記載の画像表示装置。

【請求項 3】 前記第 1 面は正のパワーを有する透過面であることを特徴とする請求項 1 記載の画像表示装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、画像表示装置に関し、特に、観察者の頭部又は顔面に保持することを可能にする頭部又は顔面装着式画像表示装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、バーチャルリアリティ用あるいは個人的に大画面の映像を楽しむことを目的として、ヘルメット型、ゴーグル型の頭部又は顔面装着式画像表示装置が開発されている。このタイプの画像表示装置は、頭部に装着して観察する必要がある。そのため、観察者にできるだけ肉体的負担をかけないためには、小型で軽量であることが重要な条件である。一方、観察画角が大きい程観察する画面が大画面になり、観察者に臨場感、没入感等の感覚を強く与えることができる。したがって、呈示す画角が広画角であることは、画像表示装置の重要な条件である。

【0003】 広画角を実現するための従来の周知な画像

$$s_1 = g \times \tan \theta / \{ \tan \theta + \tan (90 - \gamma_1) \} \quad \dots (1)$$

である。ここで、 $g$  と  $\gamma_1$  は設定条件であるため、定数と考えられる。この  $s_1$  を  $\theta$  の関数としたグラフを図 29 に示す。図 29 のグラフより明らかに、 $s_1$  は  $\theta$  に対

$$\begin{aligned} t_1 &= s_1 \cdot \tan (90 - \gamma_1) \\ &= g \times \tan \theta \times \tan (90 - \gamma_1) / \{ \tan \theta + \tan (90 - \gamma_1) \} \quad \dots (2) \end{aligned}$$

で表される。 $\tan (90 - \gamma_1)$  は上記の通り定数とすると、 $t_1$  は  $s_1$  と同様の傾向となる。

【0008】 点  $Q_1$  から拡大鏡 6 の反射点までの観察者視軸 2 の方向の距離  $s_2$  は、

$$\begin{aligned} w_1 &= s_1 + s_2 = s_1 + (h + t_1) \tan \alpha_1 \\ &= s_1 + \{ h + s_1 \cdot \tan (90 - \gamma_1) \} \tan \alpha_1 \\ &= g \times \tan \theta / \{ \tan \theta + \tan (90 - \gamma_1) \} \end{aligned}$$

表示装置として、それぞれ図 31、図 32 に断面を示すように、特開平 3 - 1 9 1 3 8 9 号、米国特許第 4, 2 6 9, 4 7 6 号のものがある。図 31 の場合は、画像表示素子の電子像の光がハーフミラーを通過し、拡大鏡で拡大反射されて、再びハーフミラーによって反射され、観察者眼球に入射することで、画像表示素子の画像の虚像を観察者に拡大投影するものである。

【0004】 また、図 32 の場合は、拡大鏡と電子像の入射面及び観察者瞳側の透過面とその反対側の面で形成された空間をプリズムとして構成しているが、電子像の観察については図 31 と同様の光線経路によって行われ、外界光はハーフミラーを透過して観察者眼球に入射するようにして観察可能となっている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 上記のような従来の画像表示装置の光学系において、観察画角を広くとろうとすると、光学系が大きくなるかあるいは光学系と観察者眼球との間の距離が短くなる傾向がある。図 28 に、瞳から画像表示素子に到る逆光線追跡によって観察者瞳から出た光線がハーフミラーで反射されて凹面鏡に到達するまでを示す。以下の説明も逆光線追跡によって行う。

【0006】 図 28 において、1 は観察者瞳位置、2 は観察者視軸、3 は画像表示素子の光軸、4 は接眼光学系、5 はハーフミラー、6 は拡大鏡、8 は画像表示素子、ハーフミラー 5 と画像表示素子の光軸 3 とのなす角を  $\gamma_1$ 、観察者瞳 1 から画像表示素子の光軸 3 までの距離を  $g$ 、観察者視軸 2 とハーフミラー 5 との交点 P から拡大鏡 6 までの距離を  $h$  とする。

【0007】 画角  $\theta$  で眼に入射する場合のハーフミラー 5 での反射光と光軸 3 のなす角  $\alpha_1$  は、

$$\alpha_1 = \pi / 2 - 2 \gamma_1 + \theta$$

で表される。 $\gamma_1$  は実用上  $30^\circ$  から  $50^\circ$  程度の範囲であり、予め設定されるものであるため、 $\alpha_1$  は  $\theta$  のみに依存していると考えられる。また、光線とハーフミラーの交点を  $Q_1$  とすると、 $Q_1$  から光軸 3 までの距離  $s_1$  は、

して単調増加する。また、点  $Q_1$  から観察者視軸 2 までの距離を  $t_1$  は、

$$s_2 = (h + t_1) \tan \alpha_1$$

である。したがって、画像表示素子の光軸 3 から拡大鏡 6 の反射点までの距離  $w_1$  は、

$$+ [h + g \times \tan \theta \times \tan (90 - \gamma_1) \div \{ \tan \theta + \tan (90 - \gamma_1) \}] \tan \alpha_1 \dots (3)$$

とする。 $\alpha_1 = \theta$  となり、

である。

【0009】ここで、簡単にするために、 $\gamma_1$  を 45 度

$$w_1 = s_1 + (h + s_1) \tan \theta = g \times \tan \theta / (\tan \theta + 1) + \{h + g \times \tan \theta / (\tan \theta + 1)\} \tan \theta \dots (4)$$

である。 $w_1$  を  $\theta$  の関数としたグラフを図 30 に示す。

図 30 のグラフより明らかに、 $w_1$  は  $\theta$  に対して単調増加することが分かる。

【0010】したがって、この構成によると、広画角になればなる程、拡大鏡 6 の大きさは飛躍的に大きくなり、それに伴って光学系全体が大型化することは明らかである。これらの画像表示装置は、観察者の頭部に装着する装置であるため、光学系が大きくなれば装置全体が大きくなり、重量も増大することになり、観察者にかかる肉体的負担が増大することになる。

【0011】また、光学系と観察者眼球の距離が短くなれば、観察者は眼鏡を掛けて観察することができなくなり、観察者によって光学系の視度を調整する必要が生じる。又は、装置と観察者の顔面が干渉する等の不具合が生じる。

【0012】本発明は従来のこのような問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、広い画角において明瞭に観察が可能であり、非常に小型軽量の画像表示装置を提供することである。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明の画像表示装置は、画像を表示する画像表示素子と、前記画像表示素子によって形成された画像を投影し観察者眼球に導く接眼光学系とからなる画像表示装置において、前記接眼光学系は、少なくとも 4 面の光学面を有し、前記観察者から前記画像表示素子に到る逆光線追跡に従って光線が通過する順に、観察者に近接した透過面である第 1 面、観察者視軸に対して傾いた有限の曲率を有する半透過面である第 2 面、第 2 面に対向した反射面である第 3 面、画像表示素子に近接した透過面である第 4 面で構成されており、前記第 1 面、前記第 3 面、前記第 4 面で形成された空間が屈折率が 1 より大きい媒質によって満たされていることを特徴とするものである。

【0014】この場合、第 2 面は観察者に対して凹面を向けた半透過面であることが望ましい。また、第 1 面は

$$y^2 + x^2 = r^2$$

とすると、(5) 式を  $x$  で微分したものが接線の傾き  $k$

$$k = -x / (r^2 - x^2)^{1/2}$$

で表される。 $x$  が 0 から 1 の範囲におけるこの  $k$  の変化を図 27 に示す。例えば、図 26 における  $\gamma_1$  が 45° の場合は、軸上である点 P では  $k = -1$  であり、そこから  $Q_2$  の方向に行くに従ってグラフでは  $x = 0$  に近付いて行く。つまり、接線 10 の傾き  $k$  の絶対値は小さくな

正のパワーを有する透過面であることが望ましい。

【0015】以下に、上記の本発明の画像表示装置の作用について説明する。説明は、光学系の設計上の利便性から、観察者の瞳位置から画像表示素子に向けて光線を追跡する逆光線追跡によって行う。

【0016】本発明においては、接眼光学系が、少なくとも 4 面の光学面を有し、観察者から画像表示素子に到る逆光線追跡に従って光線が通過する順に、観察者に近接した透過面である第 1 面、観察者視軸に対して傾いた有限の曲率を有する半透過面である第 2 面、第 2 面に対向した反射面である第 3 面、画像表示素子に近接した透過面である第 4 面で構成されており、第 1 面、第 3 面、第 4 面で形成された空間が屈折率が 1 より大きい媒質によって満たされているために、広い観察画角を有するものとしても、光学系が大きくなり、光学系と観察者眼球の距離が短くならない画像表示装置を提供することに成功したものである。

【0017】図 26 に、本発明の画像表示装置において、瞳から画像表示素子に到る逆光線追跡によって観察者瞳から出た光線がハーフミラーで反射されて凹面鏡に到達するまでを示す。図 26 において、1 は観察者瞳位置、2 は観察者視軸、3 は画像表示素子の光軸、9 は接眼光学系、8 は画像表示素子、5 はハーフミラー、6 は拡大鏡、ハーフミラー 5 と画像表示素子の光軸 3 とのなす角を  $\gamma_2$ 、観察者瞳 1 から画像表示素子の光軸 3 までの距離を  $g$ 、観察者視軸 2 とハーフミラー 5 との交点 P から拡大鏡 6 までの距離を  $h$  とする。

【0018】図 28 と同様に、画角  $\theta$  で眼に入射する場合を示しており、ハーフミラー 5 以外の光学系の条件は同じ設定である。また、ハーフミラー 5 が平面の場合のハーフミラー及び光線を点線で示してある。ハーフミラー 5 の反射点  $Q_2$  の位置は、 $Q_1$  よりも観察者瞳 1 側に移動している。

【0019】球面における接線の傾きは位置によって異なる。球面を

$$\dots (5)$$

となり、

$$\dots (6)$$

る。

【0020】したがって、接線 10 と光軸 3 のなす角  $\gamma_2$  は大きくなり、それに伴って第 2 面の反射角  $\beta_2$  も大きくなり、ハーフミラー 5 で反射後の光線と光軸 3 のなす角  $\alpha_2$  が小さくなる。よって、図 26 に図示した  $s_3$

は短くなり、光軸 3 と拡大鏡 6 での交点との距離  $w_2$  は短くなるため、拡大鏡 6 の大きさを小さくでき、光学系全体を小型軽量なものにすることが可能となる。

【0021】また、ハーフミラー 5 に曲率が付いているために、画角が大きくなればなる程  $k$  の絶対値が小さくなり、それに伴って  $\beta_2$ 、 $\gamma_2$  は大きく、 $w_2$  が小さくなるため、拡大鏡 6 の面積を小さくする効果が増大する。つまり、ハーフミラー 5 による小型化の効果が絶大となる。

【0022】また、本発明の接眼光学系によれば、上述したような効果によって、光線の拡大鏡 6 での反射点が観察者からより離れた位置となるために、観察者顔面と接眼光学系の間の距離を確保することが容易となる。

【0023】また、第 1 面、第 3 面及び第 4 面によって形成される空間を屈折率が 1 より大きい媒質で満たすことによって、瞳からの光線が第 1 面において屈折されるため、軸外光線の主光線及び従属光線の第 2 面に入射する高さを低く抑える効果が得られる。主光線の高さが低いと、第 2 面が大きくなり、接眼光学系を小型にすることができる。また、従属光線高が低くなるために、曲率を有する第 2 面で発生するコマ収差、特に高次コマ収差の発生を抑えることが可能となる。

【0024】また、第 2 面は観察者に対して凹面を向けた半透過面であることが、上述した効果を得るのに有効である。

【0025】さらに、第 1 面は正のパワーを有する透過面である場合にのみ、軸外光線は強くその光線高を低くする。また、全ての画角における光線束の従属光線高を抑える作用を有する。したがって、第 2 面に入射する軸外の光線高がより低く抑えられるため、接眼光学系を小さく構成することができる。さらに、第 2 面における従属光線が絞られているために、偏心による収差を含めたコマ収差の発生を強力に抑える効果を有することとなる。

【0026】また、第 3 面は第 2 面に対して凹面を向けた反射面とすることで、光路中の瞳と物体の略中間位置に主な正のパワーを有する反射面を配置することができる。したがって、装置と観察者の干渉を避け、画像表示素子の位置の調整が容易となり、組立時、装着時における視度調節が可能な構造となる。

【0027】また、接眼光学系は構成する少なくとも 2 つの光学面がパワーを有していて観察者視軸に対して傾くか又は偏心したプリズムで構成することによって、光学系のパワーを光軸の両側で非対称にすることが容易となり、視軸に対して画像表示素子側の画像とその反対側の画像で非対称に発生するコマ収差を補正し、さらに鮮明で広画角を確保する場合に有効である。

【0028】さて、より広画角な小型の画像表示装置になればなる程、最初の反射面である第 2 面の傾き角が大

きくなり、高次コマ収差の発生が増える。また、面の傾きによって発生する非点収差も増大するため、第 1 面と第 2 面及び第 3 面によって形成される空間が屈折率が 1 より大きい媒質で満たされているだけでは、これらの収差補正を十分に行うことが困難になってしまう場合がある。

【0029】そのため、第 1 面、第 2 面、第 3 面で形成される空間を満たす媒質の屈折率と、第 2 面、第 4 面で形成される空間を満たす媒質の屈折率とは異なるものとする。ことで、接眼光学系で発生する収差の補正をより有効に行うことが可能となる。

【0030】第 2 面とその後の第 3 面の内部反射は反射面であるため、それらの面で色収差は発生しない。また、画像表示素子に近接する第 4 面における主光線は光軸に略平行であるため、色収差の発生は少ない。したがって、接眼光学系の色収差は屈折面である第 1 面での色収差の発生が支配的になる。また、本発明のような広画角な光学系では、軸上の色収差よりも倍率の色収差の方が顕著に現れる。つまり、第 1 面で発生する媒質の色収差の補正を行うことが重要であり、それによってより鮮明で高解像な画像を表示することを可能となる。そのために、接眼光学系の構成として、観察者眼球と画像表示素子の間に媒質の異なる光学素子を配備し、それらの媒質のアップ数の違いにより倍率の色収差を補正することが可能となる。

【0031】また、第 1 面、第 2 面、第 3 面及び第 4 面の中の少なくとも 1 面は偏心非球面であることが収差補正上有効である。後記するように、観察者の視軸を原点から接眼光学系に向かう方向を正とする Z 軸、観察者の視軸に直交し、観察者の眼球からみて上下方向の下から上を正とする Y 軸、観察者の視軸に直交し、観察者の眼球からみて左右方向の右から左を正とする X 軸と定義した場合、上記のように少なくとも 1 面を偏心非球面とすることは、Y 方向に偏心又は傾いて配置される第 2 面で発生するコマ収差、特に高次コマ収差やコマフレアーを補正するために重要な条件である。

【0032】本発明のように、観察者眼球の前方に偏心あるいは傾いて配置された反射面を有するタイプの接眼光学系を用いる画像表示装置においては、軸上においても反射面に入射する光線が斜めになるために、複雑なコマ収差が発生する。この複雑なコマ収差は反射面の傾き角が大きくなるに従って大きくなる。しかしながら、小型で広画角の画像表示装置を実現しようとすると、偏心量又は傾き角をある程度大きくしないと、画像表示素子と光路が干渉してしまう。そのため、広画角で小型の画像表示装置になればなる程反射面の傾き角が大きくなり、高次コマ収差の発生を如何に補正するかが重要な問題となる。

【0033】このような複雑なコマ収差を補正するためには、接眼光学系を構成する面の少なくとも 1 面を偏心

した非球面とすることで、光学系のパワーを視軸に対して非対称な構成にすることができ、さらに、軸外においては非球面の効果を利用することができるため、軸上を含めたコマ収差の補正を有効に行うことが可能となる。

【0034】第1面、第2面、第3面及び第4面の中の少なくとも1面はアナモルフィック面であることが収差補正上有効である。つまり、Y-Z面内の曲率半径とこの面と直交するX-Z面内の曲率半径が異なる面であることである。

【0035】この条件は、第2面が視軸に対して偏心あるいは傾いているために起こる収差を補正するための条件である。一般に、球面が偏心していると、その面に入射する光線は入射面内と入射面に直交する面内で光線に対する曲率が異なる。このため、本発明のように観察者眼球の前に反射面が視軸に対して偏心あるいは傾いて配置されている接眼光学系では、観察画像中心に当たる視軸上の観察像も上記理由により非点収差が発生する。この軸上の非点収差を補正するためには、第1面、第2面、第3面及び第4面の中の少なくとも1面の曲率半径は入射面内とこれと直交する面内において異なるものと

$$z = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{k'=0}^{\infty} C_{kk'} x^k y^{k'}$$

ここで、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ は直交座標を表し、 $C_{kk'}$ は任意の係数、 $k$ 、 $k'$ も任意とする。

$$35^\circ < u < 60^\circ$$

であることが望ましい。

【0040】これは、本発明の画像表示装置の接眼光学系と画像表示素子を適性な位置に配備するための条件である。(8)式の上限の $60^\circ$ を越えて大きくなると、第2面で発生するコマ収差が他の面で補正できない程大きくなってしまふ。さらに、第2面と第3面の反射点が

$$-0.03 < C_{100} < -0.002 \text{ (mm}^{-1}\text{)} \quad \dots (9)$$

を満足することが望ましい。第2面の曲率 $C_{100}$ が(9)式の上限の $-0.002 \text{ mm}^{-1}$ を越えて大きくなると、曲面である第2面による周辺光線の光線高を低くする効果が十分得られない。下限の $-0.03 \text{ mm}^{-1}$ を越えて小さくなると、第2面でのパワーが強くなりすぎるため、他の面で補正できない程収差特にコマ収差が発生する。

【0042】また、画像表示素子の表示面は視軸に対して傾いて配備されていることが有効である。接眼光学系を構成する屈折面あるいは反射面が偏心又は傾いている場合、瞳からの光線は屈折面あるいは反射面での屈折角又は反射角が像高によって異なり、像面が視軸に対して傾くことがある。その場合、画像表示素子面を視軸に対して傾いて配備することで、像面の傾きを補正することが可能となる。

【0043】以上の画像表示装置において、画像表示素子と接眼光学系を観察者頭部に対して位置決めする手段

することによって、軸上を含めた非点収差を補正することができ、クリアな観察像を提供することができる。

【0036】また、接眼光学系の第1面及び第3面の何れか1面は、視軸に対してティルトあるいはディセンタリングしていることが望ましい。第1面及び第3面の何れか1面がティルトあるいはディセンタリングすることにより、視軸に対して画像表示素子側の画像とその反対側の画像で非対称に発生するコマ収差の補正や、画像表示素子を配置する面を第2面で反射後の光軸に対して略垂直に配置することが可能となる。これは視野角特性の良くない液晶表示素子のような画像表示素子を用いるときに有効となる。

【0037】また、第1面、第2面、第3面及び第4面の中の少なくとも1面が自由曲面であれば、上述した非球面又はアナモルフィック面による効果を満足することができるため、接眼光学系で発生する収差を有効に補正することが可能である。

【0038】ここで、自由曲面は下記式(7)で表現される曲面である。

$$\dots (7)$$

【0039】また、接眼光学系の第2面の法線と観察者視軸(軸上主光線)のなす角を $u$ とすると、

$$\dots (8)$$

離れすぎてしまい、接眼光学系が非常に大きくなってしまふ。下限の $35^\circ$ を越えて小さくなると、第2面での反射角が小さくなり、第2面で反射後の光線が顔面方向に戻ってしまふ。

【0041】また、接眼光学系の第2面の面頂での曲率を $C_{100}$ とすると、

$$\dots (9)$$

を有することによって、観察者は安定した画像を観察することが可能となる。

【0044】また、画像表示素子と接眼光学系を観察者頭部に対して位置決めする手段を有し、観察者頭部に装着できるようにすることによって、観察者は自由な観察姿勢や観察方向で画像を観察することが可能となる。

【0045】また、少なくとも2組のこのような画像表示装置を一定の間隔で支持する支持手段を有することによって、観察者は左右両眼で楽に観察することが可能となる。また、左右の画像表示装置の画像表示面に視差を与えた画像を表示し、両眼でそれらを観察することによって立体像を楽しむことが可能となる。

【0046】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の画像表示装置の実施例1から6について、図面を参照して説明する。各実施例の構成パラメータは後記するが、以下の説明において、面番号は、観察者の瞳位置1から接眼光学系9へ

向う逆追跡の面番号として示してある。そして、座標の取り方は、図1に示すように、観察者の虹彩位置1を原点とし、観察者視軸2を原点から接眼光学系9に向かう方向を正とするZ軸、観察者視軸2に直交し、観察者眼球から見て上下方向の下から上を正とするY軸、観察者視軸2に直交し、観察者眼球からみて左右方向の右から左を正とするX軸と定義する。つまり、後記する図1の紙面内をY-Z面とし、紙面と垂直方向の面をX-Z面とする。また、光軸は紙面のY-Z面内で折り曲げられるものとする。

【0047】そして、後記する構成パラメータ中において、偏心量Y、Zと傾き角 $\theta$ が記載されている面については、基準面である1面（瞳位置1）からのその面の面頂のY軸方向、Z軸方向の偏心量、及び、その面の中心軸のZ軸からの傾き角を意味し、その場合、 $\theta$ が正は反時計回りを意味する。なお、面間隔に意味はない。

【0048】また、各面において、非回転対称な非球面形状は、その面を規定する座標上で、 $R_y$ 、 $R_x$ はそれぞれY-Z面（紙面）内の近軸曲率半径、X-Z面内の近軸曲率半径、 $K_y$ 、 $K_x$ はそれぞれX-Z面、Y-Z面内の円錐係数、AR、BRはそれぞれZ軸に対して回転対称な4次、6次の非球面係数、AP、BPはそれぞれZ軸に対して回転非対称な4次、6次の非球面係数とすると、非球面式は以下に示す通りである。

$$\begin{aligned} \text{【0049】 } Z = & \left[ \left( X^2/R_x \right) + \left( Y^2/R_y \right) \right] / \left[ 1 + \right. \\ & \left. \left\{ 1 - (1+K_x) \left( X^2/R_x^2 \right) - (1+K_y) \left( Y^2/R_y^2 \right) \right\} \right]^{1/2} \\ & + AR \left[ (1-AP) X^2 + (1+AP) Y^2 \right]^2 + B \\ & R \left[ (1-BP) X^2 + (1+BP) Y^2 \right]^3 \end{aligned}$$

なお、面と面の間の媒質の屈折率はd線の屈折率で表す。長さの単位はmmである。

【0050】図1～図6にそれぞれ実施例1～6の単眼用の画像表示装置の断面図を示す。それぞれの断面図において、図中、1は観察者の瞳位置、2は観察者視軸、9は接眼光学系、11は接眼光学系9の第1面、5は接眼光学系9の第2面であるハーフミラー、6は接眼光学系9の第3面である拡大鏡（凹面鏡）、12は接眼光学

系9の第4面、8は画像表示素子である。

【0051】これらの実施例における実際の光線経路は、画像表示素子8から発した光線束は、接眼光学系9の第4面12で屈折して接眼光学系9に入射し、ハーフミラー5を通過して拡大鏡6で反射されてハーフミラー5に戻り、今度はハーフミラー5で反射されて接眼光学系9の第1面11に入射して屈折されて、観察者の瞳の虹彩位置又は眼球の回旋中心を射出瞳1として観察者の眼球内に投影される。

10 【0052】各実施例の画角等の値は、実施例1の水平画角40°、垂直画角30.6°、瞳径4mm、ハーフミラー5の法線と観察者視軸2のなす角度37.42°、ハーフミラー5の面頂での曲率-0.0056mm<sup>-1</sup>である。

15 【0053】実施例2の水平画角30°、垂直画角22.8°、瞳径8mm、ハーフミラー5の法線と観察者視軸2のなす角度39.9°、ハーフミラー5の面頂での曲率-0.0046mm<sup>-1</sup>である。

20 【0054】実施例3の水平画角45°、垂直画角34.6°、瞳径4mm、ハーフミラー5の法線と観察者視軸2のなす角度43.45°、ハーフミラー5の面頂での曲率-0.01mm<sup>-1</sup>である。

25 【0055】実施例4の水平画角45°、垂直画角34.6°、瞳径4mm、ハーフミラー5の法線と観察者視軸2のなす角度38.59°、ハーフミラー5の面頂での曲率-0.005mm<sup>-1</sup>である。

30 【0056】実施例5の水平画角45°、垂直画角34.6°、瞳径4mm、ハーフミラー5の法線と観察者視軸2のなす角度41.8°、ハーフミラー5の面頂での曲率-0.0055mm<sup>-1</sup>である。

35 【0057】実施例6の水平画角40°、垂直画角30.6°、瞳径8mm、ハーフミラー5の法線と観察者視軸2のなす角度42.39°、ハーフミラー5の面頂での曲率-0.0038mm<sup>-1</sup>である。以下に、上記実施例1～6の構成パラメータの値を示す。

【0058】実施例1

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッペ数 (傾き角)
1	$\infty$ (瞳)			
2	$\infty$		1.5254	56.25
		Y	0.0000 $\theta$	-3.72°
		Z	20.355	
3	$R_y$ -179.211		1.5254	56.25
	$R_x$ -165.411		Y -2.194 $\theta$	37.42°
	$K_y$ 0		Z 35.355	
	$K_x$ 0			
	AR 0.127284 $\times 10^{-5}$			
	BR -0.565396 $\times 10^{-13}$			
	AP -0.107951			
	BP -0.119600 $\times 10^2$			

4	$R_y$	180.917		1.5254	56.25
	$R_x$	99.112	Y	-12.807	$\theta$ 84.69°
	$K_y$	0	Z	48.355	
	$K_x$	0			
	A R	$0.108134 \times 10^{-5}$			
	B R	$0.211006 \times 10^{-10}$			
	A P	-0.199934			
	B P	$0.108930 \times 10^1$			
5	$R_y$	-30.858	Y	11.666	$\theta$ 107.71°
	$R_x$	-37.728	Z	10.085	
	$K_y$	-0.648366			
	$K_x$	-4.488275			
	A R	$0.283824 \times 10^{-4}$			
	B R	$-0.406175 \times 10^{-7}$			
	A P	$-0.117155 \times 10^1$			
	B P	-0.974334			
6	(画像表示素子)		Y	15.451	$\theta$ 88.11°
			Z	33.857	

【0059】実施例2

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッペ数 (傾き角)
1	$\infty$ (瞳)			
2	$\infty$		1.5254	56.25
		Y	0.0000	$\theta$ -9.32°
		Z	20.000	
3	R <sub>y</sub> -218.075		1.5254	56.25
	R <sub>x</sub> -153.445	Y	4.969	$\theta$ 39.90°
	K <sub>y</sub> -3.368535	Z	31.862	
	K <sub>x</sub> -10.000000			
	A R 0.571943 $\times 10^{-6}$			
	B R -0.917414 $\times 10^{-12}$			
	A P -0.368789			
	B P -0.587966 $\times 10^1$			
4	R <sub>y</sub> 224.186		1.5254	56.25
	R <sub>x</sub> 162.490	Y	-13.161	$\theta$ 83.54°
	K <sub>y</sub> 0	Z	41.138	
	K <sub>x</sub> 0			
	A R 0.948197 $\times 10^{-6}$			
	B R 0.156382 $\times 10^{-12}$			
	A P -0.122671			
	B P 0.753978 $\times 10^1$			
5	R <sub>y</sub> -1413.225	Y	12.660	$\theta$ 68.09°
	R <sub>x</sub> -87.184	Z	25.000	
	K <sub>y</sub> -8.000000			
	K <sub>x</sub> 10.000000			
	A R 0.270191 $\times 10^{-5}$			
	B R -0.776615 $\times 10^{-9}$			
	A P -0.595865			
	B P 0.479127			
6	(画像表示素子)	Y	19.617	$\theta$ 97.26°

【0060】実施例3

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッペ数 (傾き角)
1	$\infty$ (瞳)			
2	$R_y$ -173.329 $R_x$ 41.324 $K_y$ 0 $K_x$ 0 A R $-0.329652 \times 10^{-6}$ B R $0.523728 \times 10^{-11}$ A P $0.876156 \times 10^1$ B P $-0.202358 \times 10^2$		1.5254 Y -3.353 $\theta$ Z 20.147	56.25 -2.43°
3	$R_y$ -100.000 $R_x$ 952.298 $K_y$ 0 $K_x$ 0 A R $-0.789469 \times 10^{-10}$ B R $0.314882 \times 10^{-10}$ A P $-0.126990 \times 10^3$ B P $0.239103 \times 10^1$		1.5254 Y -0.313 $\theta$ Z 31.542	56.25 43.45°
4	$R_y$ 699.924 $R_x$ 60.372 $K_y$ 0 $K_x$ 0 A R $0.472554 \times 10^{-10}$ B R $0.423116 \times 10^{-12}$ A P $0.935918 \times 10^2$ B P $0.139150 \times 10^2$		1.5254 Y -13.353 $\theta$ Z 43.377	56.25 79.33°
5	R -11.757 $R_x$ -4.496 $K_y$ -1.774022 $K_x$ -3.509119 A R $0.822394 \times 10^{-4}$ B R $-0.179411 \times 10^{-6}$ A P $-0.127684 \times 10^1$ B P $-0.114684 \times 10^1$		Y 11.484 $\theta$ Z 24.253	89.25°
6	(画像表示素子)		Y 10.037 $\theta$ Z 37.142	73.55°

【0061】実施例4

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッペ数 (傾き角)
1	$\infty$ (瞳)			
2	$R_y$ -288.420 $R_x$ -613.123 $K_y$ 0 $K_x$ 0 A R $0.115829 \times 10^{-4}$ B R $0.204909 \times 10^{-14}$		1.5254 Y 0.671 $\theta$ Z 20.040	56.25 0.03°

	A P	0.203677				
	B P	$0.171442 \times 10^3$				
3	R <sub>y</sub>	-200.000		1.5254	56.25	
	R <sub>x</sub>	-261.675	Y	-1.792	$\theta$	38.59°
	K <sub>y</sub>	0	Z	35.040		
	K <sub>x</sub>	0				
	A R	$0.163562 \times 10^{-5}$				
	B R	$-0.301809 \times 10^{-15}$				
	A P	$-0.564787 \times 10^{-1}$				
	B P	$-0.123717 \times 10^3$				
4	R <sub>y</sub>	102.370		1.5254	56.25	
	R <sub>x</sub>	68.331	Y	-13.876	$\theta$	87.47°
	K <sub>y</sub>	0	Z	48.040		
	K <sub>x</sub>	0				
	A R	$0.992790 \times 10^{-6}$				
	B R	$0.605520 \times 10^{-12}$				
	A P	-0.238580				
	B P	$0.610124 \times 10^1$				
5	R <sub>y</sub>	-40.454	Y	6.671	$\theta$	113.70°
	R <sub>x</sub>	-38.017	Z	3.099		
	K <sub>y</sub>	-0.232146				
	K <sub>x</sub>	-5.408361				
	A R	$0.921621 \times 10^{-4}$				
	B R	$-0.107135 \times 10^{-6}$				
	A P	$-0.108753 \times 10^1$				
	B P	-0.957482				
6	(画像表示素子)		Y	11.393	$\theta$	81.18°
			Z	36.812		

【0062】実施例5

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッペ数 (傾き角)
1	$\infty$ (瞳)			
2	$\infty$		1.5254	56.25
			Y -15.000	$\theta$ 0.00°
			Z 20.000	
3	R <sub>y</sub> -183.184		1.5254	56.25
	R <sub>x</sub> -172.198		Y 18.348	$\theta$ 41.80°
	K <sub>y</sub> 0		Z 21.000	
	K <sub>x</sub> 0			
	A R $0.388012 \times 10^{-6}$			
	B R $-0.933882 \times 10^{-10}$			
	A P $-0.173951 \times 10^{-1}$			
	B P -0.223255			
4	72.254		1.5254	56.25
			Y -11.323	$\theta$ 73.43°
			Z 28.472	
5	R <sub>y</sub> -92.917		Y 12.110	$\theta$ 79.60°
	R <sub>x</sub> -42.127		Z 20.000	
	K <sub>y</sub> 0			
	K <sub>x</sub> 0			

	A R	$0.128407 \times 10^{-4}$					
	B R	$-0.307966 \times 10^{-10}$					
	A P	$-0.161439$					
	B P	$0.517646 \times 10^1$					
6	(画像表示素子)		Y	12.512	$\theta$	86.16°	
			Z	35.183			。

【0063】実施例 6

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッペ数 (傾き角)
1	$\infty$ (瞳)			
2	256.499		1.4870	70.40
		Y	76.098	$\theta$ -9.60°
		Z	26.430	
3	$R_y$ -261.011		1.4870	70.40
	$R_x$ -604.816	Y	30.709	$\theta$ 42.39°
	$K_y$ -10.000000	Z	25.177	
	$K_x$ 0			
	A R $-0.100334 \times 10^{-8}$			
	B R $-0.137823 \times 10^{-10}$			
	A P $-0.679774 \times 10^1$			
	B P -0.312747			
4	$R_y$ 166.156		1.4870	70.40
	$R_x$ 106.217	Y	-21.391	$\theta$ 72.57°
	$K_y$ 0	Z	51.676	
	$K_x$ 0			
	A R $-0.171410 \times 10^{-9}$			
	B R $0.106042 \times 10^{-10}$			
	A P $0.286805 \times 10^2$			
	B P 0.948785			
5	$R_y$ -261.011		1.54787	47.40
	$R_x$ -604.816	Y	30.709	$\theta$ 42.39°
	$K_y$ -10.000000	Z	25.177	
	$K_x$ 0			
	A R $-0.100334 \times 10^{-8}$			
	B R $-0.137823 \times 10^{-10}$			
	A P $-0.679774 \times 10^1$			
	B P -0.312747			
6	$R_y$ 74.598	Y	8.126	$\theta$ 112.83°
	$R_x$ 111.513	Z	81.238	
	$K_y$ 0			
	$K_x$ 0			
	A R $0.942722 \times 10^{-6}$			
	B R $-0.412902 \times 10^{-11}$			
	A P $0.261913 \times 10^1$			
	B P $0.378035 \times 10^1$			
7	(画像表示素子)	Y	19.346	$\theta$ 71.17°
		Z	78.835	。

【0064】次に、上記実施例 1 の横収差図を図 7 ～図 9 に、同様に実施例 2 ～ 6 の横収差図をそれぞれ図 10 ～図 12、図 13 ～図 15、図 16 ～図 18、図 19 ～

図 21、図 22 ～図 24 に示す。これらの横収差図において、括弧内に示された数字は (水平画角, 垂直画角) を表し、その画角における横収差を示す。

【0065】以上、本発明の画像表示装置を実施例に基づいて説明してきたが、本発明はこれらの実施例に限定されず種々の変形が可能である。本発明の画像表示装置を頭部装着式画像表示装置（HMD）21として構成するには、図25（a）に断面図、同図（b）に斜視図を示すように、例えばヘッドバンド20を取り付けて観察者の頭部に装着して使用する。この使用例の場合に、接眼光学系9の第2面の半透過ミラー（ハーフミラー）5の前方に液晶シャッター13を配備し、外界像を選択的に又は画像表示素子8の映像と重畳して観察できるようにしている。

【0066】以上の本発明の画像表示装置は例えば次のように構成することができる。

〔1〕 画像を表示する画像表示素子と、前記画像表示素子によって形成された画像を投影し観察者眼球に導く接眼光学系とからなる画像表示装置において、前記接眼光学系は、少なくとも4面の光学面を有し、前記観察者から前記画像表示素子に到る逆光線追跡に従って光線が通過する順に、観察者に近接した透過面である第1面、観察者視軸に対して傾いた有限の曲率を有する半透過面である第2面、第2面に対向した反射面である第3面、画像表示素子に近接した透過面である第4面で構成されており、前記第1面、前記第3面、前記第4面で形成された空間が屈折率が1より大きい媒質によって満たされていることを特徴とする画像表示装置。

【0067】〔2〕 前記第2面は観察者に対して凹面を向けた半透過面であることを特徴とする上記〔1〕記載の

$$35^\circ < u < 60^\circ$$

を満足することを特徴とする上記〔1〕に記載の画像表示装置。

$$-0.03 < C_{HM} < -0.002 \quad (\text{mm}^{-1}) \quad \dots (9)$$

を満足することを特徴とする上記〔1〕に記載の画像表示装置。

【0077】〔12〕 前記画像表示素子の表示面は前記観察者視軸に対して傾いて配備されていることを特徴とする上記〔1〕から〔11〕の何れか1項記載の画像表示装置。

【0078】〔13〕 前記画像表示素子と前記接眼光学系を観察者頭部に対して位置決めする位置決め手段を有することを特徴とする上記〔1〕から〔12〕の何れか1項記載の画像表示装置。

【0079】〔14〕 前記画像表示素子と前記接眼光学系を前記観察者頭部に対して支持する支持手段を有し、前記観察者頭部に装着できることを特徴とする上記〔1〕から〔12〕の何れか1項記載の画像表示装置。

【0080】〔15〕 前記画像表示装置の少なくとも2組を一定の間隔で支持する支持手段を有することを特徴とする上記〔1〕から〔14〕の何れか1項記載の画像表示装置。

【0081】

載の画像表示装置。

【0068】〔3〕 前記第1面は正のパワーを有する透過面であることを特徴とする上記〔1〕記載の画像表示装置。

05 【0069】〔4〕 前記第3面は前記第2面に対して凹面を向けた反射面であることを特徴とする上記〔1〕記載の画像表示装置。

【0070】〔5〕 前記の少なくとも4面の中、少なくとも2面はパワーを有していて観察者視軸に対して傾くか又は偏心していることを特徴とする上記〔1〕記載の画像表示装置。

【0071】〔6〕 前記の第1面、第2面、第3面で形成される空間を満たす媒質の屈折率と、前記の第2面、第4面で形成される空間を満たす媒質の屈折率とは異なることを特徴とする上記〔1〕記載の画像表示装置。

【0072】〔7〕 前記第1面、第2面、第3面及び第4面の中の少なくとも1面は偏心非球面であることを特徴とする上記〔1〕記載の画像表示装置。

20 【0073】〔8〕 前記第1面、第2面、第3面及び第4面の中の少なくとも1面はアナモルフィック面であることを特徴とする上記〔7〕記載の画像表示装置。

【0074】〔9〕 前記第1面、第2面、第3面及び第4面の中の少なくとも1面は自由曲面であることを特徴とする上記〔7〕記載の画像表示装置。

25 【0075】〔10〕 前記第2面の法線と観察者視軸のなす角を $u$ とすると、  
 $\dots (8)$

30 【0076】〔11〕 前記第2面の面頂での曲率を $C_{HM}$ とすると、  
 $\dots (9)$

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明の画像表示装置によると、広い観察画角で非常に小型軽量の画像表示装置を提供することができる。

35 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1の画像表示装置の断面図である。

【図2】本発明の実施例2の画像表示装置の断面図である。

40 【図3】本発明の実施例3の画像表示装置の断面図である。

【図4】本発明の実施例4の画像表示装置の断面図である。

45 【図5】本発明の実施例5の画像表示装置の断面図である。

【図6】本発明の実施例6の画像表示装置の断面図である。

【図7】本発明の実施例1の横収差図の一部である。

50 【図8】本発明の実施例1の横収差図の残りの一部である。

【図 9】本発明の実施例 1 の横収差図の残りの部分である。

【図 10】本発明の実施例 2 の横収差図の一部である。

【図 11】本発明の実施例 2 の横収差図の残りの一部である。

【図 12】本発明の実施例 2 の横収差図の残りの部分である。

【図 13】本発明の実施例 3 の横収差図の一部である。

【図 14】本発明の実施例 3 の横収差図の残りの一部である。

【図 15】本発明の実施例 3 の横収差図の残りの部分である。

【図 16】本発明の実施例 4 の横収差図の一部である。

【図 17】本発明の実施例 4 の横収差図の残りの一部である。

【図 18】本発明の実施例 4 の横収差図の残りの部分である。

【図 19】本発明の実施例 5 の横収差図の一部である。

【図 20】本発明の実施例 5 の横収差図の残りの一部である。

【図 21】本発明の実施例 5 の横収差図の残りの部分である。

【図 22】本発明の実施例 6 の横収差図の一部である。

【図 23】本発明の実施例 6 の横収差図の残りの一部である。

【図 24】本発明の実施例 6 の横収差図の残りの部分である。

【図 25】本発明による頭部装着式画像表示装置の断面図と斜視図である。

【図 26】本発明の画像表示装置の接眼光学系に関する説明図である。

【図 27】本発明による接眼光学系のハーフミラーの接線の傾きの変化を示すグラフである。

05 【図 28】従来の画像表示装置の接眼光学系に関する説明図である。

【図 29】従来の接眼光学系のハーフミラーでの反射点の位置の変化を示すグラフである。

10 【図 30】従来の接眼光学系の拡大鏡での反射点の位置の変化を示すグラフである。

【図 31】従来の 1 つの画像表示装置の光学系を示す図である。

【図 32】従来の別の画像表示装置の光学系を示す図である。

15 【符号の説明】

1 … 観察者瞳位置

2 … 観察者視軸

3 … 画像表示素子の光軸

5 … 接眼光学系の第 2 面（ハーフミラー）

20 6 … 接眼光学系の第 3 面（拡大鏡）

8 … 画像表示素子

9 … 接眼光学系

10 … ハーフミラーの接線

11 … 接眼光学系の第 1 面

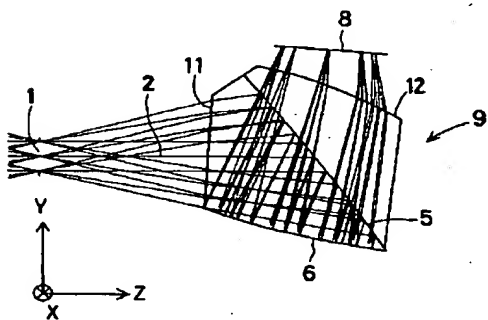
25 12 … 接眼光学系の第 4 面

13 … 液晶シャッター

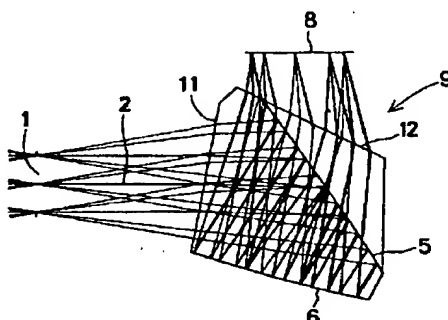
20 … ヘッドバンド

21 … 頭部装着式画像表示装置（HMD）

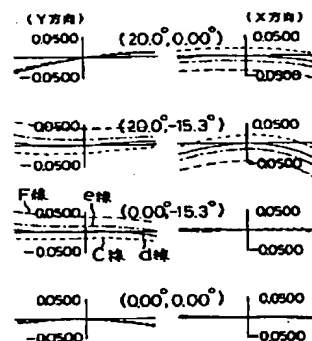
【図 1】



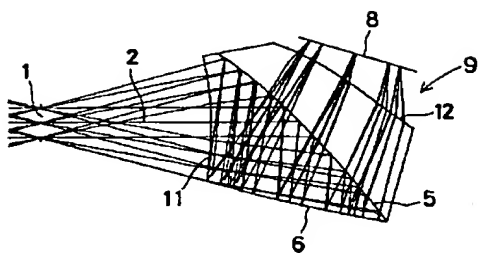
【図 2】



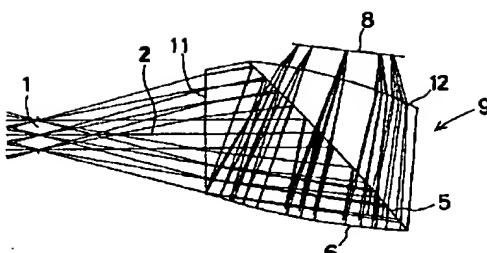
【図 7】



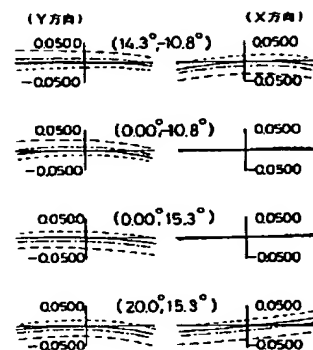
【図 3】



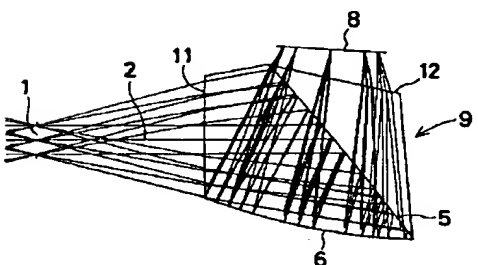
【図 4】



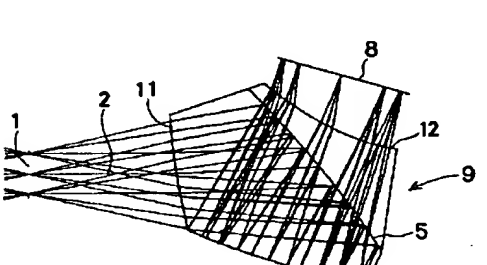
【図 8】



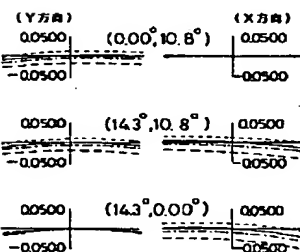
【図 5】



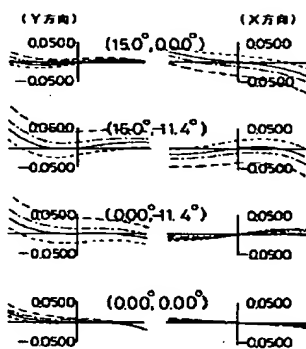
【図 6】



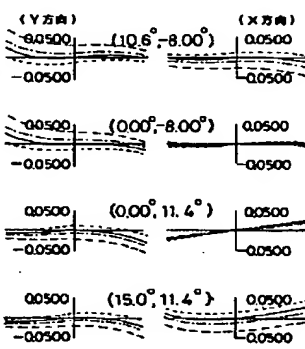
【図 9】



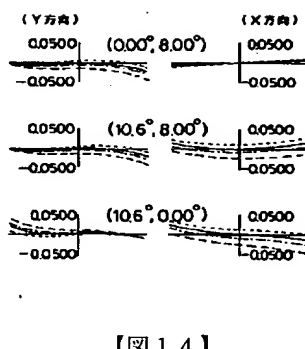
【図 10】



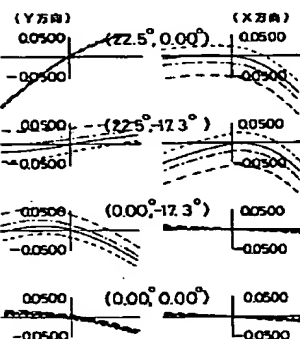
【図 11】



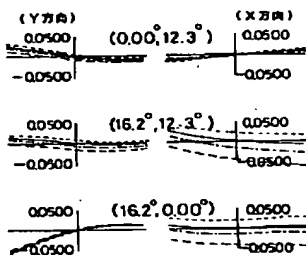
【図 12】



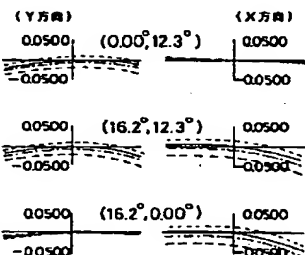
【図 13】



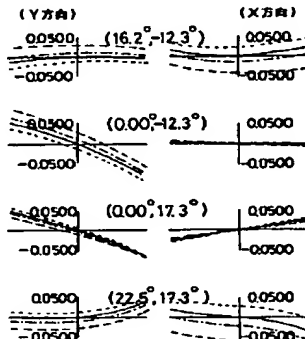
【図 15】



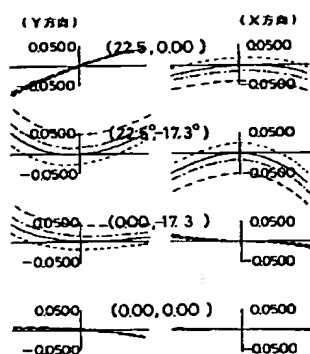
【図 18】



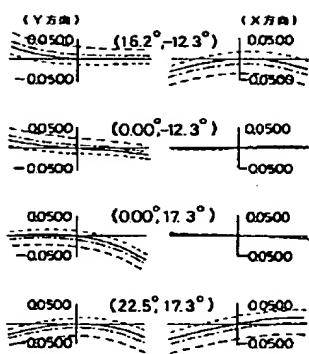
【図 14】



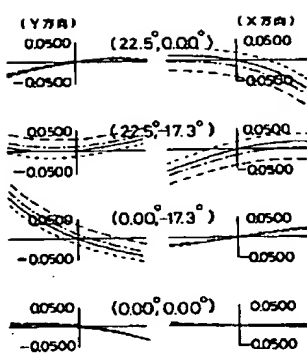
【図16】



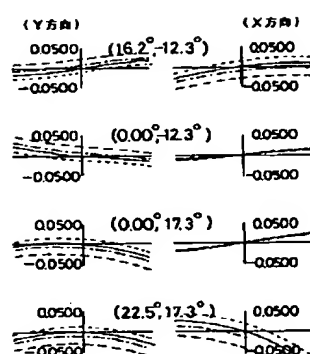
【図17】



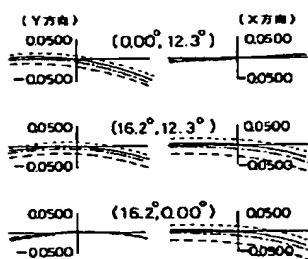
【図19】



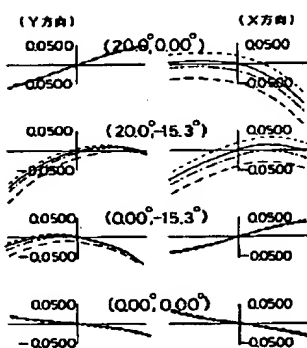
【図20】



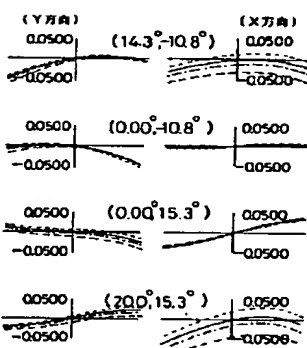
【図21】



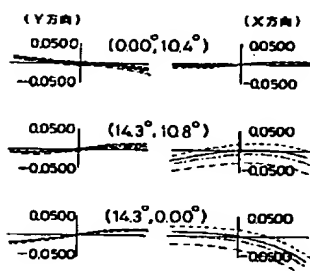
【図22】



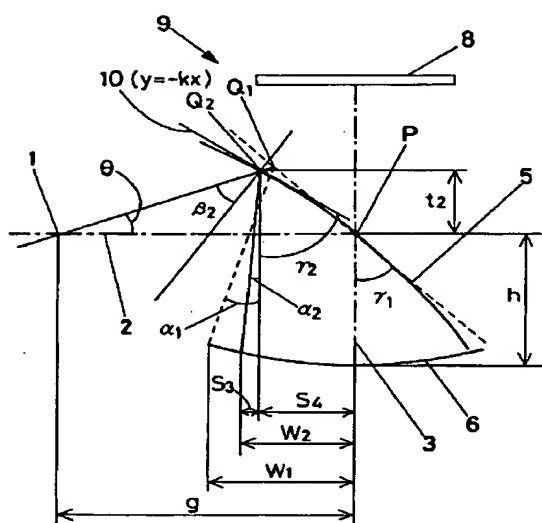
【図23】



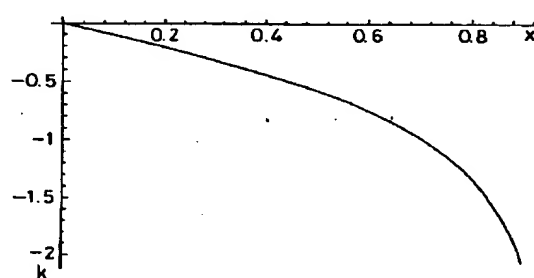
【図24】



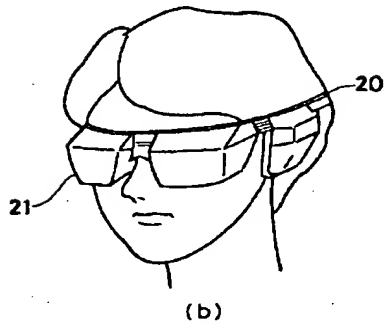
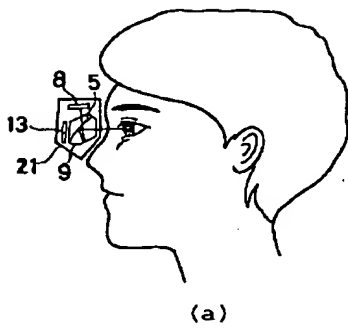
【図26】



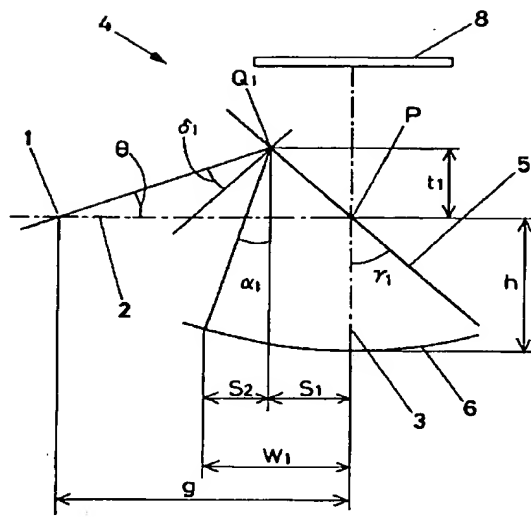
【図27】



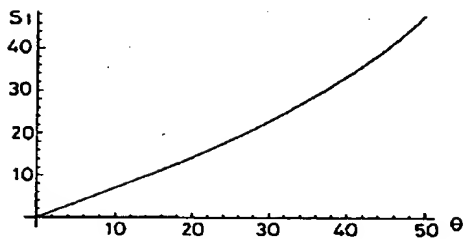
【図25】



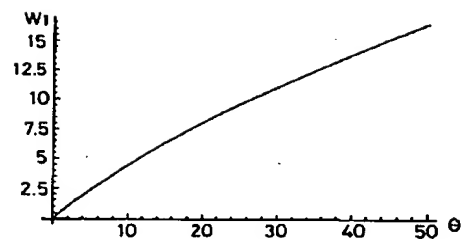
【図28】



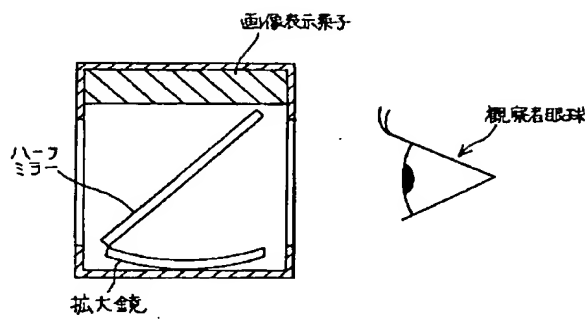
【図29】



【図30】



【図 3 1】



【図 3 2】

